

**Granitoides peraluminosos del área de Mina San Antonio (tungsteno), Sierra de Vinquis
Norte, Sierras Pampeanas, Argentina**

José E. Lazarte

Fac. Ciencias Naturales e Instituto Lillo, INSUGEO-CONICET

Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán.

jelazar@csnat.unt.edu.ar

17 páginas (incluyendo cuatro cuadros) y cuatro páginas de figuras.

Encabezado sugerido: **Granitoides peraluminosos de Mina San Antonio**

Resumen

Se estudian los granitoides aflorantes en los alrededores de Mina San Antonio (W), en el extremo norte de la sierra de Vinquis, departamento de Belén, Catamarca. Se caracterizan tres unidades de granitos *s.s.*, peraluminosos. El Granito Piedra Overa es un sienogranito de dos micas, con altos contenidos de P_2O_5 y Th, y bajos de Sr, tierras raras pesadas e Y. El Granito Vinquis Norte es un sienogranito biotítico, con contenidos de Y levemente altos y bajos de Sr y E.T.R. El Granito Mina San Antonio es un sienogranito muscovítico, con alto contenido de P_2O_5 , y levemente alto de Y, y bajos contenidos de Ba, Sr y E.T.R. Ninguno de los cuerpos presenta altos valores de elementos de mena. Los cuerpos de Vinquis Norte y Mina San Antonio presentan rasgos de consanguinidad. El P habría jugado un papel importante en la fertilidad metalogenética del conjunto, evidente por la presencia de las vetas, la queda expresada en los parámetros de la anomalía de Eu y el perfil de E.T.R. normalizado.

Palabras clave: granitoides peraluminosos, geoquímica, tungsteno, Sierras Pampeanas.

Abstract

Peraluminous granitoids from Mina San Antonio area (W), North Vinquis range, Sierras Pampeanas, Argentina.

Granitoid bodies cropping out around Mina San Antonio (W) located on the northern edge of the Vinquis range, Department of Belen, Catamarca, are studied. The granitoids of Piedra Overa Granite, North Vinquis Granite and Mina San Antonio Granite, all of peraluminous composition are characterized. Piedra Overa Granite is a two-micas sienogranite, with high contents of P_2O_5 and Th and low contents of Sr, HREE and Y. North Vinquis Granite is a biotitic sienogranite, with slightly higher content of Y and low Sr and REE. Mina San Antonio Pluto is a muscovitic sienogranite with high P_2O_5 content, and slightly high Y and low contents of Ba, Sr and REE. None of the bodies show high values of ore elements. North Vinquis and Mina San Antonio bodies show signs of inbreeding. The apparent granite's fertility is exposed only within the parameters of the Eu anomaly and the profile of REE normalized.

Key words: peraluminous granites, geochemistry, tungsten, Sierras Pampeanas.

INTRODUCCIÓN

La sierra de Vinquis (departamento Belén, Catamarca), ha sido estudiada en trabajos de alcance regional en los que los cuerpos de granitoides son tratados en general, sin particularizar los caracteres geológicos o geoquímicos (Toselli *et al.*, 1992; Gorustovich y Guidi, 1993, Rapela *et al.*, 1996). González Bonorino (1972) realiza las observaciones más detalladas, denominando “plutón de San Antonio” a un cuerpo con una longitud aproximada de 11 km, el que incluiría a los granitos que se estudian en este trabajo. Lazarte, *et al.* (2012), describen la alteración y dan contenidos de elementos de interés económico.

La existencia de un importante depósito tungstífero, Mina San Antonio (Beder, 1922; Tezón, 1957), plantea la necesidad de un mejor conocimiento de las rocas asociadas al mismo. El depósito, conformado por vetas de cuarzo portadoras de wolframita, se sitúa en el sector norte de la sierra, en las coordenadas 27°51´S y 67°15´O aproximadamente.

En este trabajo se procura la caracterización geológica y geoquímica de los granitoides del sector de Mina San Antonio, complementaria a lo publicado por Lazarte *et al.* (2012), como primer paso para elaborar un modelo petro y metalogenético del sector. Para ello se utilizan datos petrográficos, geoquímicos y de la geología de campo. Los análisis químicos por elementos mayores y traza se realizaron en laboratorios de Acmelabs, Canadá (métodos ICP-MS e ICP-ES). Los datos se procesaron con GCDkit (Janousek *et al.*, 2006).

GEOLOGÍA

Basamento metamórfico

En general, se observan dos metamorfismos sobreimpuestos: uno regional y otro de contacto. El primero produce tipos rocosos que serían correlacionables con la Fm. Loma Corral (Turner, 1962).

La roca dominante es un esquisto biotítico de grano fino a muy fino, con textura granoblástica. Está compuesto por cuarzo, muscovita, biotita, opacos en parte subhedrales, apatito, circón y turmalina. Hay dos generaciones de muscovita, una como alteración de biotita y otra como porfiroblastos sin inclusiones y de mayor tamaño que la generación anterior, posterior a cuarzo y biotita. Se observan dos direcciones de bandeo, uno más antiguo (N305°/70°SO), aparentemente un plano penetrativo, y otra posterior (N331/subvert.) con inyección cuarzosa, las cuales se resuelven como dos direcciones de orientación de biotita.

Otro tipo rocoso es una filita gris oscura cuarzo – biotítica con inyección granítica y silicificación masiva. La esquistosidad en la quebrada de la Mina es N253° inclinando entre 33° y 85°N.

En la quebrada Piedra Overa afloran corneanas cuarzo-biotíticas con fuerte silicificación pervasiva y en venillas, con la estructura interna obliterada, inyección no profusa en venas graníticas y cuarzosas de hasta 40 cm. Al microscopio se observan cuarzo, muscovita, biotita (en proporciones similares), circón y posible titanita como relictos, cordierita (con reservas) alterada y escasa, apatito, minerales opacos, y una posible generación de biotita póstuma. Más al sur, Toselli *et al.* (1992) mencionan sillimanita.

En la zona de contacto del plutón de la mina, se desarrolla turmalina acicular, con el eje c yacente sobre el plano de clivaje y biotita (“ojos” de hasta 2mm), rasgos que abarcan unos 10 m de espesor desde el contacto. Al microscopio se observan además, cuarzo, muscovita, posterior a la matriz cuarzo-biotítica, y como alteración de biotita, cordierita cloritizada (con reservas), escaso topacio, circón y biotitización póstuma en algunos sectores.

Granitoides

Se reconocen tres cuerpos principales: Granito Piedra Overa, Granito Viquis Norte y Granito de Mina San Antonio, los dos últimos con similitudes composicionales.

Granito Piedra Overa

El cuerpo aflora desde la quebrada homónima hacia el norte y sus contactos aún no están totalmente definidos (Fig.1). Es un sienogranito biotítico – moscovítico (con variaciones locales a monzogranito), color gris rosado, porfiroide, con variaciones graduales a granito gris de grano fino, con fenocristales de 5-10 mm (cuarzo, FK y plagioclasa en menor medida) en proporción <20%, en mesostasis fina de dos micas en estructura “flotante”. Componentes: cuarzo, biotita, feldespato potásico, plagioclasa, muscovita, apatito y minerales opacos.

En zona de contacto se observa biotitización (venillas de biotita cortando venillas de cuarzo) y silicificación, además de escasos xenolitos de esquistos.

Al microscopio la textura es porfiroide o inequigranular. El FK es microclino perfitico, con inclusiones de plagioclasa, biotita y material microgranular. Una generación de FK podría ser anterior a los fenocristales de cuarzo. El cuarzo se presenta en dos tamaños (dos generaciones), una que engloba a muscovita y otra que es incluida en la mica. En ocasiones se observa material microgranular, principalmente cuarzo feldespático, rodeando a los fenocristales de cuarzo, los que presentan leves corrosiones en el contacto. Esto sugiere etapas

de enfriamiento rápido en el proceso de cristalización. La plagioclasa es zoneada, con sericitización variable. Se observa una generación de grano fino más fresca y posiblemente más ácida, anterior a FK. Muscovita es en parte primaria, sin alteraciones ni inclusiones y alcanza los 3mm. El apatito es abundante en algunos sectores. La biotita se presenta con profusas inclusiones con halos y una generación secundaria microgranular e intersticial. La generación principal es levemente anterior o coetánea a muscovita primaria. Hay sectores con intensa cloritización. Opacos escasos, como exsoluciones de biotita. Véase figura 2 (a, b y c).

Granito Vinquis Norte

La facies principal es un sienogranito biotítico, rosado grisáceo, grano mediano, textura variable de porfírica a equigranular. Los componentes son cuarzo, FK (microclino en proporciones variables), plagioclasa, muscovita secundaria con una posible generación primaria muy escasa, biotita y minerales opacos.

En la zona de contacto el grano es más fino y con menor contenido de minerales máficos y opacos, se observan venas de pegmatitas de hasta 15 cm. Además se observa fluorita color violáceo en posición intersticial y biotita secundaria dominante sobre la primaria. En la desembocadura de la quebrada de la Mina, se observó una foliación (15-33°/subvert.). Su distribución cercana a un contacto y la presencia de xenolitos alineados con el plano de foliación sugiere que dicha estructura estaría ligada a fenómenos propios de una intrusión forzada, cuando la roca aún estaba en estado semiplástico. Es el único rasgo que remite a las facies con deformación que menciona González Bonorino (1972).

Al microscopio se observan fenocristales de FK (Fig. 2d), cuarzo y plagioclasa (más escasos), la pasta es de grano fino. Los de cuarzo tienen textura en caries y una generación microgranular (acompañado por FK y sericita) en los bordes; los fenocristales de FK (microclino) son los de mayor tamaño (hasta 6 mm), sin deformación (extinción normal), los fenocristales de plagioclasa son albita – oligoclasa ácida. Otros componentes son biotita como máfico predominante, muscovita secundaria y sericita, circón y minerales opacos, clorita y epidoto secundarios. FK es micropertítico (venillas anastomosadas), los fenocristales incluyen en los bordes a micas y plagioclasa. Topacio es escaso, intersticial.

Granito de Mina San Antonio

La facies principal está constituida por un sienogranito color rosado, grano mediano, muscovítico con escasa biotita. Se observan impregnaciones puntuales de óxidos rojizos. Plagioclasa ácida subordinada a FK. Textura inequigranular.

Además se observa una facies porfiroide de distribución irregular, con fenocristales de 4 mm de cuarzo en matriz de cuarzo, feldespatos alcalinos y muscovita de grano fino a muy fino. Escasa biotita y óxidos color gris.

En algunos sectores se observa greisenización, con un fuerte reemplazo por cuarzo- sericita- muscovita, obliterando totalmente los minerales originales. También se observó albitización de distribución irregular y luego muscovitización probablemente concomitante con el emplazamiento de las vetas cuarzosas y próxima a las mismas.

La composición general es de cuarzo, feldespato potásico (microclino), plagioclasa, muscovita, biotita, topacio, apatito y minerales opacos.

El cuarzo se presenta en cristales anhedrales con extinción normal. El microclino está en mesostasis y como fenocristales, caolinitizados moderadamente y en ocasiones albitizados. La plagioclasa es albita a oligoclasa ácida (An₈₋₁₂), con maclas en bandas anchas, “tipo albita”. Es frecuente la sericitización moderada a suave. Se aprecia una generación antigua, no determinable por la fuerte alteración en los escasos individuos observados como inclusiones en albita. La albitización genera reemplazos parciales de FK por Ab, en una masa microgranítica cerca del contacto granito/ basamento metamórfico. Esta generación, posiblemente póstuma, tiene ocasionales cristales de muscovita desarrollados paralelos a la macla.

La muscovita es la mica casi exclusiva y se presenta como una generación primaria, de individuos frescos, sin inclusiones, y una generación secundaria, producto de alteración de feldespatos y biotita. No constituye fenocristales y puede alcanzar los 2 mm. La biotita es muy escasa, en cristales pequeños, con inclusiones que dejan halos pleocroicos. Topacio se observa en pocas muestras, como individuos pequeños de posición intersticial o algunos individuos mayores. Apatito es muy escaso. Los minerales opacos en general rellenan fracturas o son anhedros intersticiales. Véase figura 2 (e y f).

GEOQUÍMICA

Elementos mayoritarios

Los cuerpos que se estudian en este trabajo pueden ser caracterizados, desde el punto de vista geoquímico, como peraluminosos, de acuerdo con los índices de Shand (Fig.3) que dan al Granito Piedra Overa como el de mayor grado de aluminosidad (valores A/CNK: 1 - >2 en Piedra Overa, alrededor de 1 en Vinquis Norte y 1,2 – 1,5 en Granito Mina San Antonio). Hay una tendencia al incremento de aluminosidad desde el Granito Vinquis Norte hacia el Granito

de la Mina, coherente con su mineralogía. El G. Piedra Overa y el G. Mina San Antonio podrían considerarse granitos fuertemente peraluminosos mientras que el G. Viquis Norte sería de aluminosidad débil (criterios de Miller, 1985, en Rapela *et al.*, 1996). Lazarte *et al.* (2012) los clasifican como peraluminosos félsicos.

Se han realizado diagramas de variación donde se observan separaciones en las tendencias evolutivas. Se toman como ejemplos, diagramas tipo Harker de Al_2O_3 y P_2O_5 (según Lazarte *et al.* 2012) y álcalis. Se observa que el GPO tiene una tendencia creciente de alúmina (Fig.4), del mismo modo el conjunto GVN y GMSA, pero en otra línea. Ambos casos son coherentes con lo que se observa en la mineralogía de los cuerpos. En los álcalis, el contenido de K_2O es aproximadamente constante en el GPO y decreciente con el aumento de SiO_2 en los otros cuerpos; en el diagrama Na_2O+K_2O vs. SiO_2 (Fig.5) se observa claramente la separación de las tendencias del Granito Piedra Overa por un lado y los cuerpos de Viquis Norte y Granito de la Mina por otro; éste último presenta mayor dispersión de contenidos, lo que podría deberse a los procesos tardíos y post magmáticos.

Estos granitos se caracterizan también por el contenido de P_2O_5 (véase cuadro 1). Según valores de granitoides de Sudáfrica (Sheepers y Rozendaal 1995), los contenidos $<0,1\%$ corresponderían a granitos tipo I ó A, y los tipo S tendrían un promedio de $0,17\%$. Los contenidos de P se relacionan a los contenidos de Ca y Al y al grado de evolución magmática (Wolf y London 1994). En el diagrama tipo Harker (Fig.6) los granitos que se estudian presentan tres tendencias bien diferenciadas. Si se superponen las curvas de saturación de apatito, según Sheepers y Rozendaal (1995), se ve que el GVN queda por debajo de la curva de $900^\circ C$ por sus bajos contenidos de P, de modo similar a granitos tipo A ó I de El Cabo (Sheepers y Rozendaal 1995), dato que se discute más adelante.

Del mismo modo, para estudiar las relaciones de P con Ca y Al sugeridas por diferentes autores se hicieron los diagramas de las figuras 7 y 8, donde se ve que hay correlación positiva entre contenido de P y Al en el GPO, lo mismo que en el conjunto GVN y GMSA, pero en este caso con menor pendiente. La relación CaO/P_2O_5 es decreciente en el GPO y cae fuertemente desde el GVN al GMSA.

Los diagramas sugieren que el granito Piedra Overa (de dos micas) sería el de menor grado de evolución presentando una tendencia creciente de alúmina mientras que los Granitos Viquis Norte y Granito Mina San Antonio en conjunto constituyen una tendencia decreciente. Si bien se observa un “salto” desde el Granito Viquis Norte al Granito Mina San Antonio que podría representar una evolución por separado de ambos cuerpos, como se observa en algunos

elementos traza, ya que la alteración no parece suficiente para explicarla. Más adelante se discute este punto.

Los valores de CaO (0,95 – 0,25%) y Sr (90 – 25 p.p.m.) concuerdan con los que Rapela *et al.* (1996) dan como rasgo común a todos los granitos fuertemente peraluminosos.

El exceso de Al₂O₃ da valores altos de corindón (C) en el GPO (picos de hasta 9,3%) en la composición normativa C.I.P.W. (cuadro 2). El GVN tiene valores algo más bajos (1,22 %) que el GMSA (3,97 %). Otros valores significativos son de rutilo (se distingue claramente el G. Piedra Overa del resto con una media de 0,361). El alto P₂O₅ se manifiesta en valores de apatito (medias de 0,89% y 0,56% en los cuerpos de PO y MSA, resp.), el GVN se distingue por valores bajos, con una media de 0,095%.

Elementos traza

Los datos disponibles del Granito Piedra Overa indican poca variación en los contenidos de Rb (media de aprox. 400 p.p.m.) mientras que el Granito Vinquis Norte y el Granito de la Mina poseen contenidos que varían entre 100 y 800 p.p.m. Los valores altos (>500 p.p.m.), típicos de granitos evolucionados, sólo se observan en muestras con alteración. El Sr se presenta con valores poco variables, por debajo de los 100 p.p.m. Los valores Rb/Sr, en todos los casos, son <10 salvo los casos de greisenización, en donde los valores son diez veces superiores al resto (Fig.9). Los valores K/Rb no se encuadran en lo que Tischendorf (1977) considera granitos especializados ya que el Granito Mina San Antonio sin alterar y el Granito Vinquis Norte tienen valores alrededor de 200 y el Granito Piedra Overa se ubica entre 200 y 100. Las muestras de granito greisenizado del GMSA tienen valores <100 (véase cuadro 3). En el diagrama de la figura 10 se observa que el GMSA sería mucho más evolucionado que el GVN, con un *hiatus* notorio entre uno y otro cuerpo. El GPO se discrimina como altamente diferenciado.

La relación Ba/Rb discrimina al Granito Piedra Overa (valores entre 0,6 y 0,9 con poca variación) de los granitos Vinquis Norte y Mina San Antonio. De éstos, el primero presenta valores mucho más variables, entre 0,7 y 1,7; mientras que el segundo tiene valores claramente inferiores (<0,2), que lo sitúan en el extremo evolucionado. Sólo muestras de sectores con alteración dan valores suficientemente bajos, comparables a otros cuerpos de granitos especializados de la región (Lazarte *et al.*, 1999).

En los elementos HFS, se observa que, en general, el Granito Piedra Overa tiene un menor grado de evolución, sin embargo, constituiría una tendencia separada de los granitos relacionados a mineralización, tal como se ve en los diagramas de elementos mayores (P₂O₅).

Los contenidos de Y varían entre 17 y 79 p.p.m. en el Granito Piedra Overa, mientras que en el Granito Vinquis Norte varían entre 59 y 75 p.p.m. y en el Granito de Mina San Antonio se ubican alrededor de 60 p.p.m., con tendencia decreciente hacia términos más evolucionados.

La relación Zr/Hf (Fig.9) sería indicador de grado de diferenciación en un cuerpo ígneo. Para nuestro caso se toman como referencia datos de Lowery Claiborne *et al.*(2006) que citan valores >35 en condritos, >30 en cumulos del batolito de Nevada y de alrededor de 25 en granitoides de ese cuerpo. Las rocas que se estudian acá tienen valores > 30 en el Granito Piedra Overa y entre 20 y 25 en el Granito Vinquis Norte y el Granito Mina San Antonio. Más adelante veremos otras posibilidades de interpretar estos resultados.

La relación Zr/Nb distingue al Granito Piedra Overa con valores entre 9 y 11. El Granito Vinquis Norte y sectores sin alteración del Granito Mina San Antonio presentan valores entre 4 y 7. Las muestras con indicio de alteración presentan valores <1, por lo que, en esta área, la relación podría ser usada como herramienta de prospección.

El Granito Piedra Overa se distingue por los valores de Th (entre 50 y 60 p.p.m., Th/U entre 15 y 19) por encima de los contenidos medios de granitos según Krauskopf (1979), lo que posiblemente se relacione al grado de aluminosidad. Rapela *et al.* (1996) dan valores entre 2 y 0,1 en granitos peraluminosos. Los otros cuerpos tienen menos de 30 p.p.m. de Th (Th/U entre 3 y 7 en el Granito Vinquis Norte). En el Granito Mina San Antonio se observa que los sectores sin alteración tienen valores similares a los del Granito Vinquis Norte mientras que los sectores con greisenización tienen valores menores a 1 p.p.m. Los valores del GPO son también altos para la corteza según datos de Wedepohl (1995).

La relación La/Th (Fig.11) discrimina los tres cuerpos estudiados. En el Granito Piedra Overa está cerca del valor 1, en el Granito Vinquis Norte alrededor de 2, en línea con la media de granitos de Krauskopf (1979), y el cuerpo de Mina San Antonio parece ir a valores alrededor de 0,5 (con reservas por el escaso número de muestras).

Para estudiar las tierras raras (E.T.R.), se utiliza un diagrama con normalización a condrito según datos de Nakamura (1974), véase figura 12. Se observa que el GPO presenta un diseño de mayor pendiente que el resto, comenzando con los mayores valores para ETRL y terminando con los menores valores para ETRP ($La/Lu_{cn}=30$) y una anomalía de Eu moderada ($Eu/Eu^*=0,286$). El GVN tiene altos valores La_{cn} pero el perfil es casi horizontal ($La/Lu_{cn}=2,381$), con anomalía de Eu de moderada a pronunciada ($Eu/Eu^*=0,119$). El GMSA tiene menores valores de ETRL, pero los ETRP son similares a Granito Vinquis Norte, lo que le da un perfil levemente cóncavo ($La/Lu=1,667$) con una anomalía de Eu más pronunciada ($Eu/Eu^*=0,067$). Lazarte *et al.* (2006) encuentran que las anomalías de Eu serían indicadoras

de grado de evolución. Según este criterio, la anomalía de Eu señala al GPO como el cuerpo de menor grado de evolución y al GMSA como el más evolucionado.

La relación $La/Yb > 25$ que se observa en el Granito Piedra Overa (coherente con $La/Lu=30$) podría indicar equilibrio con granate a altas presiones (Rapela *et al.*, 1996).

En cuanto al ambiente tectónico, utilizando los parámetros de Pearce *et al.* (1984), con Rb, Y y Nb (Fig.13); se observa que el granito Piedra Overa se discrimina como de sin-colisión, mientras que en el conjunto Viquis Norte y Granito de la Mina se distribuyen entre los campos sin colisión e intraplaca (o postcolisión), obviamente sin considerar las muestras de sectores con greisenización. Lazarte *et al.* (2012) llegan a resultados similares usando Rb vs. $Ta+Yb$. Esto se podría interpretar como un pasaje de etapa de orogenia a la post orogenia, similar a lo visto para el norte de la sierra de Zapata (Lazarte *et al.*, 1999). Son pocas muestras para una categorización definitiva, pero es claro que el Granito Piedra Overa se habría emplazado en un ambiente geotectónico diferente a los otros dos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los diagramas geoquímicos indican que los tres cuerpos podrían representar tres procesos o tendencias diferentes, ya que casi no se observan continuidades de uno a otro, si bien existen claras similitudes entre Granito Viquis Norte y Granito Mina San Antonio.

El Granito Piedra Overa (dos micas) tiene contenidos relativamente altos de P, similares a otros cuerpos de dos micas de la región (Granito Río Rodeo en el Cordón de los Colorados, Lazarte *et al.*, 1999; Granito Mazán, Lazarte *et al.*, 2006).

Hay claros indicios de que los cuerpos de Viquis Norte y Mina San Antonio, relacionados a la mineralización de W, podrían ser consanguíneos. Esto se desprende de los valores Zr/Nb , donde el Granito Mina San Antonio sin greisenización tiene valores similares al Granito Viquis Norte, y Zr/Hf , con valores comunes en todas las muestras de ambos cuerpos. La tendencia de este conjunto sería a pasar de una aluminosidad débil a una fuerte, coherente con el paso de biotítico a muscovítico en las respectivas mineralogías. El Granito Mina San Antonio podría representar una reactivación del sistema magmático, que se inicia con la generación de tipos rocosos con altos contenidos de P, lo que explicaría la inversión en la tendencia que se observa en el diagrama de P_2O_5 vs. sílice (Fig.6). Este enriquecimiento en P estaría ligado a la actividad de Ca, Bea *et al.* (1992) se refieren a estos cuerpos como “granitos fosforosos”. El contenido de P_2O_5 es directamente proporcional al grado de aluminosidad (Fig.7), lo que se relacionaría con apatito contenido en micas. En general, los

granitos evolucionados tienen alto P_2O_5 y este influye en el potencial mineralizador ya que actúa, de manera análoga a los halógenos, disminuyendo la temperatura de cristalización y favoreciendo la concentración de metales en las soluciones residuales. Resulta al menos llamativo que el contenido de P no estaría afectado por el grado de alteración, ya que muestras con indicios de greisenización se mantienen en las tendencias de las rocas no afectadas.

Clemens (2003) propone fusión de metasedimentitas para explicar el origen de granitos peraluminosos, sin embargo, habría que considerar los rasgos geoquímicos que acercan nuestros granitoides a los granitos tipo I como Th/U o Zr/Hf. Si bien los valores Zr/Hf han sido interpretados como indicio del grado de fraccionamiento, también podrían indicar presencia de componentes “primitivos” en el origen del magma. En otras localidades de Sierras Pampeanas (granitos de la sierra de Velasco, en Grosse *et al.* 2000) se citan componentes “primitivos” en la fuente, hipótesis que ya fuera considerada para los granitos de Papacahcura (Lazarte 1994) y de la sierra de Zapata norte (Lazarte *et al.* 1999). Se sugiere que los valores de Zr/Hf significativos como aquellos >30 del Granito Piedra Overa, podrían indicar, con reservas, presencia de estos componentes “primitivos”.

La relación de los cuerpos de Vinkis Norte y Mina San Antonio con el Granito Piedra Overa aún no queda expuesta con los datos disponibles.

Si tomamos como indicadores del grado de evolución – especialización criterios habituales en la bibliografía especializada (por ejemplo, las relaciones K/Rb, Rb/Sr, Ba/Rb o la profundidad de la anomalía de Eu, Lazarte *et al.*, 2006), vemos que solamente se puede calificar de evolucionados a los tipos de las etapas finales, muy probablemente postmagmáticas (ver valores en cuadro 3). Lazarte *et al.* (2012) dicen que la fertilidad de este conjunto de granitoides queda expuesta con la profundidad de la anomalía de Eu y el perfil del diagrama de E.T.R. normalizado (cuya pendiente se refleja en el valor La/Lu_{cn}) ya que, en esta localidad es clara la diferencia entre granitos estériles y relacionados a la mineralización. Si bien la anomalía de Eu está directamente relacionada al fraccionamiento de plagioclasa, las coincidencias observadas en estos y otros cuerpos (Lazarte *et al.* 2006) sugieren que se pueden utilizar como criterio indicativo, no excluyente, del grado de especialización.

Por correlación con plutones similares, es posible que los granitos estudiados en este trabajo pertenezcan al ciclo Carbonífero en el ámbito de Sierras Pampeanas.

Como conclusiones preliminares se pueden enunciar las siguientes:

- En el tramo norte de la sierra de Vinkis afloran los granitos Piedra Overa, Vinkis Norte y Granito Mina San Antonio, todos de composición granítica s.s. y peraluminosos.

- El Granito Piedra Overa es un sienogranito de dos micas, con altos contenidos de P_2O_5 y Th, y bajos de Sr, tierras raras pesadas e Y. El Granito Vinquis Norte es un sienogranito biotítico, con contenidos de Y levemente altos y bajos de Sr y E.T.R. El Granito Mina San Antonio es un sienogranito muscovítico, con alto contenido de P_2O_5 , y levemente alto de Y, y bajos contenidos de Ba, Sr y E.T.R. Ninguno de los cuerpos presenta altos valores de elementos de mena.
- Los tres cuerpos identificados en el campo y por petrografía representan diferentes eventos magmáticos y sólo se pueden relacionar entre sí el granito Vinquis Norte con el Granito Mina San Antonio. Éstos presentan rasgos de consanguinidad, sin embargo, éste último, más evolucionado, podría representar una reactivación del sistema magmático, donde el P habría jugado un papel importante en la fertilidad metalogenética.

Agradecimientos

El autor desea agradecer al Consejo de Investigaciones de la U.N.T. y al CONICET, instituciones que financian este proyecto. Asimismo, a los árbitros Leal y anónimo por sus valiosas observaciones.

TRABAJOS CITADOS

- Bea, F., Fershtater, G. y Corretgé, L.G., 1992. The geochemistry of phosphorous in granite rocks and the effect of aluminium. *Lithos*, 29(1-2): 43-56.
- Beder, R., 1922. Informe sobre estudios geológicos – económicos en la provincia de Catamarca. Dirección General de Minería, Geología e Hidrogeología, Boletín nº 31, Buenos Aires.
- Clemens, J.D., 2003. S- type granitic magmas petrogenesis issues, models and evidence. *Earth- Science Reviews*, 61(1-2): 1-18.
- El Bouseily, A.M. y El Sokkary, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, 16: 207-219.
- Gonzalez Bonorino, F.; 1972. Descripción geológica de la hoja 13c- Fiambalá. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 127. Buenos Aires.
- Gorustovich, S. y Guidi, F.; 1993. Caracterización uranífera de los granitoides del N de las Sierras Pampeanas noroccidentales. 12º Congreso Geológico Argentino, 5: 297-305, Mendoza.
- Grosse, P., Söllner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi, J. y De la Rosa, J., 2009. Lower Carboniferous post-orogenic granites in entral- Eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite gochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1001-1025.

- Janousek, V., Farrow, C.M. y Erban, V., 2006. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (*GCDkit*) *Journal of Petrology* 47(6): 1255-1259. First published online March 2006, doi:10.1093/petrology/ egl013.
- Krauskopf, K. 1979. *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill Co., Tokyo, 617 pp.
- Lazarte, J.E., 1994. Geología y geoquímica del Granito Papachacra (Carbonífero?), Sierras Pampeanas, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(3-4): 337-352.
- Lazarte, J.E.; J. L. Fernández Turiel; F. Guidi y M.E. Medina. 1999. Los granitos Río Rodeo y Quimivil: dos etapas del magmatismo paleozoico del norte de Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54(4): 319-332.
- Lazarte, J.E.; J.C. Ávila; A.S. Fogliata y M. Gianfrancisco, 2006. Granitos evolucionados relacionados con mineralización estanno- wolframífera en las Sierras Pampeanas occidentales. *Serie de Correlación Geológica* 21: 75-104.
- Lazarte, J.E., Ávila, J.C. y Gianfrancisco, M., 2012., Mineralización wolframífera relacionada a granitos peraluminosos: aspectos geoquímicos de la alteración en granitos del extremo norte de la sierra de Vinquis. *Serie Correlación Geológica* 28(2): 67-84.
- Lowery Claiborne, L., Miler, C.F., Walker, B.A., Wooden, J.L., Mazdab, F.K. y Bea, F., 2006. Tracking magmatic processes through Zr/Hf ratios in rocks and Hf and Ti zoning in zircons: an example from the Spirit Mountain batholith Nevada. *Mineralogical Magazine* 70(5): 517-543.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 757-773.
- Pearce, J.; Harris, N. y Tindall, A.; 1984. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4):956-983.
- Rapela, C. W.; J. Saavedra; A. J. Toselli y E. Pellitero, 1996. Eventos magmáticos fuertemente peraluminosos en las Sierras Pampeanas. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. *Actas V*:337-353.
- Shand S.J., 1943. *Eruptive Rocks; Their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits, with a chapter on meteorites*. Hafner Publishing Co., New York, 444p.
- Sheepers, R. y Rozendaal, A., 1995. Phosphorous as a typological and mineralization potential indicator: the Cape Granite suite of the Saldania belt as a case study. *Journal of African Earth Sciences*, 22(1): 127-140.
- Tezón, R.V., 1957. Minería de la hoja 13c, Fiambalá, provincia de Catamarca. *Anales* 5, Dirección Nacional de Minería. Buenos Aires.
- Tischendorf, G. 1977. Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare-elements mineralization. *Metallization Associated with Acid Magmatism* 2: 41-90.
- Toselli, G.A., Saavedra, J., Córdoba, G. y Medina, M.E., 1992. Los granitos peraluminosos de las sierras de Vinquis, Cerro Negro y Zapata (Sierras Pampeanas), Catamarca, Argentina. *Estudios Geológicos*, 48: 247-256.
- Turner J.C., 1962. Estratigrafía del tramo medio de la Sierra de Velasco y región oeste (La Rioja). *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 42: 77-126.
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217-1232.

Wolf, M.B. y London, D., 1994. Apatite dissolution in telperaluminous haplogranitic melts: an experimental study of solubilities and mechanism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(19): 4127-4145.

Cuadro 1 contenidos (%) de óxidos de elementos mayoritarios.

	Granito Vinquis Norte				Granito Mina San Antonio				Granito Piedra Overa			
	290	291	292	318	301	304	313	314	293	296	298	315
SiO ₂	74,89	76,15	75,43	75,66	76,18	76,52	77,24	74,47	70,42	69,79	69,44	71,39
TiO ₂	0,14	0,14	0,13	0,12	0,02	0,06	0,01	0,06	0,39	0,37	0,39	0,41
Al ₂ O ₃	12,92	12,5	12,81	12,94	13,68	12,51	13,43	14,53	15,38	15,33	14,97	15,56
Fe ₂ O ₃	2,13	1,76	1,65	1,66	1,12	1,3	1,06	1,37	2,47	2,36	2,43	2,12
MnO	0,06	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,09	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
MgO	0,11	0,15	0,1	0,09	0,05	0,05	0,05	0,12	0,59	0,65	0,67	0,52
CaO	0,55	0,62	0,51	0,58	0,35	0,44	0,26	0,47	0,74	0,9	0,92	0,6
Na ₂ O	3,25	3,31	3,4	3,31	3,73	2,36	3,08	3,49	0,76	2,86	2,66	0,24
K ₂ O	4,96	4,53	4,88	4,8	3,59	5,34	3,18	4,2	5,44	5,42	5,47	5,37
P ₂ O ₅	0,04	0,05	0,03	0,04	0,3	0,02	0,21	0,34	0,38	0,36	0,4	0,42
LOI	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	1	1,2	0,8	3,1	1,6	2,3	3,3
Sum	99,75	99,85	99,77	99,82	99,86	99,73	99,81	99,88	99,7	99,68	99,68	99,96
CaO/P ₂ O ₅	13,75	12,40	17,00	14,50	1,17	22,00	1,24	1,38	1,95	2,50	2,30	1,43

Datos de Lazarte et al. (2012)

Cuadro 2: contenidos normativos (CIPW) de los granitos de la sierra de Vinquis

	GVN					
	290	291	292	318	Prom.	
Q	35,77	38,15	35,82	36,77	36,63	
C	1,30	1,14	1,08	1,34	1,22	
Or	29,31	26,77	28,84	28,37	28,32	
Ab	27,50	28,01	28,77	28,01	28,07	
An	2,47	2,75	2,33	2,62	2,54	
Hy	0,274	0,374	0,249	0,224	0,280	
Il	0,128	0,086	0,064	0,043	0,080	
Ru	0,072	0,095	0,096	0,098	0,090	
Ap	0,095	0,118	0,071	0,095	0,095	
Sum	96,92	97,49	97,32	97,56		
	GMSA					
	301	303	304	313	314	Prom.
Q	40,651	48,105	41,394	47,011	37,869	43,006
C	3,66	4,95	2,10	4,92	4,20	3,97
Or	21,22	15,48	31,56	18,79	24,82	22,37

Ab	31,56	27,16	19,97	26,06	29,53	26,86
An	0,00	0,22	2,05	0,00	0,11	0,48
Hy	0,17	0,33	0,13	0,28	0,30	0,24
Il	0,038	0,038	0,064	0,019	0,064	0,0446
Ru	0	0	0,026	0	0,026	
Ap	0,630	0,640	0,047	0,468	0,805	0,518
Sum	97.920	96.935	97.331	97.549	97.728	

GPO

	293	296	298	315	EA-390	EA-389	Prom.
Q	43,79	30,53	31,19	48,57	23,40	20,29	32,96
C	7,81	3,98	3,96	9,27	1,23	3,12	4,89
Or	32,15	32,03	32,33	31,74	36,29	40,60	34,19
Ab	6,43	24,20	20,03	2,03	30,89	27,33	18,48
An	1,19	2,11	1,95	0,23	2,75	4,49	2,12
Hy	1,47	1,62	1,67	1,30	3,37	0,35	1,63
Il	0,064	0,086	0,064	0,064	0,064	0,064	0,07
Ru	0,356	0,325	0,356	0,376	0,356	0,396	0,361
Ap	0,900	0,853	0,947	0,995	1,018	0,640	0,892
Sum	94,15	95,74	92,49	94,56	99,36	97,27	

Cuadro 3 contenidos (ppm) de elementos traza.

	Granito Vinquis Norte				Plutón Mina San Antonio				Granito Piedra Overa			
	290	292	316	317	303**	304	308B**	313	314	293	296	298
Co	1,3	1,4	1,6	1,4	0,7	0,9	0,6	n	n	4	3,6	3,4
Sc	10	11	n	n	1	2	<1	1	2	4	4	4
V	10	7	7	6	<5	<5	10	n	n	32	25	28
Cu	19,4	28,6	6,3	4,2	23,9	22,2	71,5	n	n	11,5	7,1	8,1
Pb	24,2	31,5	6,3	3,9	3,1	17,7	5,4	n	n	12,2	7,6	8,4
Zn	48	55	38	11	13	70	155	n	n	72	84	92
Bi	0,4	0,3	0,1	n	3,7	0,2	0,9	n	n	0,4	0,9	0,8
Sn	n	6	4	2	11	6	44,3	n	n	8	7	7
W	n	6,4	3,1	6,1	11,1	3,7	56,6	n	n	9,9	5,6	4,4
Mo	5,3	2,1	4,7	2,4	2,1	2,9	1,5	n	n	1,3	2,4	0,9
Rb	198,1	205,2	156,3	107,2	431	224	604,1	235	220	417	411,6	415
Cs	8,7	9,1	4,9	2,6	29,2	3,1	n	n	n	22	19,6	13,2
Ba	177,4	141,8	257,7	243,7	21,1	38,3	14	36,2	39,5	276,3	242,5	250,6
Sr	30,9	28	31,1	89,1	7,1	42,4	8	41	43,1	52	58,1	62,1
Ta	2	2,3	1,9	2,2	4,9	2,3	10,8	n	n	1,9	1,4	1,6
Nb	25,2	30,5	22,6	27,2	29,9	23,4	50,2	22,1	24,2	19,9	18,1	17,5
Hf	5	5,3	7	5,9	1,6	5,8	1,4	5,6	6,2	6	5,9	6
Zr	121,5	122,8	155	120,3	21,4	107,9	21,5	103,5	109,6	186,6	182,1	193,2
Y	59,5	75,2	67,2	78,9	4,6	64,7	5,2	63	65,5	17,8	16,9	17
Th	15,3	17,7	19,8	18,2	1,3	30,6	1,3	29,5	31	54,5	52,7	55,8
U	3,2	4,6	3,2	3,4	1,7	5,6	7,2	5,2	5,9	3	3,3	3,4
La	35,6	34,1	40,3	36,1	1,2	15,1	1,7	n	n	49,2	48,4	51,4

Ce	81,2	79,4	96,8	85,7	2,7	38	3	n	n	127,3	121,1	130,5
Pr	9,43	9,37	10,67	9,75	0,28	4,91	n	n	n	16,27	15,79	16,71
Nd	36,8	35,6	41,3	38	1	20,3	n	n	n	63,8	63,2	68,6
Sm	8,9	9,6	9,4	9,7	0,4	6,1	n	n	n	13	13,2	13,4
Eu	0,45	0,36	0,46	0,52	<.05	0,15	n	n	n	0,86	0,88	0,94
Gd	8,15	9,41	9,23	9,96	0,26	6,58	n	n	n	7,57	7,17	7,46
Tb	1,72	1,99	1,79	2,08	0,09	1,46	n	n	n	0,97	0,88	0,9
Dy	9,4	12,05	10,54	12,77	0,55	9,27	n	n	n	3,69	3,51	3,59
Ho	2	2,43	2,3	2,75	0,09	2,13	n	n	n	0,52	0,51	0,51
Er	5,53	7,22	6,74	8	0,33	6,69	n	n	n	1,28	1,17	1,15
Tm	0,87	1,15	0,99	1,12	0,08	1,07	n	n	n	0,2	0,17	0,18
Yb	5,67	7,65	6,63	8,13	0,55	7,51	n	n	n	1,2	1,19	1,13
Lu	0,81	1,06	0,99	1,19	0,08	1,02	n	n	n	0,19	0,17	0,15
Be	5	5	4	7	3	2	5	n	n	9	6	11

n= sin datos

Datos inéditos y de Lazarte *et al.* (2012)

Cuadro 4: Relaciones en los cuerpos de la sierra de Vinquis

	muestra	Ba/Rb	Rb/Sr	K/Rb	Th/U	La/Th	Zr/Hf	Zr/Nb	Eu/Eu*
Granito Piedra Overa	293	0,66	8,02	108,29	18,17	0,9	31,1	9,38	0,27
	296	0,59	7,08	109,31	15,97	0,92	30,86	10,06	0,28
	298	0,6	6,68	109,42	16,41	0,92	32,2	11,04	0,29
	EA390	0,64	6,61	124,3	16,01	n	n	n	n
	EA389	0,88	2,93	146,21	14,99	n	n	n	n
Granito Vinquis Norte	290	0,9	6,41	207,85	4,78	2,33	24,3	4,82	0,16
	292	0,69	7,33	197,42	3,85	1,93	13,17	4,03	0,12
	316	1,65	5,02	n	6,19	2,03	22,14	6,86	0,15
	317	22,27	1,2	n	5,35	1,98	20,39	4,42	0,16
Granito Mina S. Antonio	303	0,05	60,7	50,46	0,76	0,92	13,37	0,72	0,19
	304	0,17	5,28	107,9	5,46	0,49	18,6	4,61	0,07
	SA-308	0,02	75,51	49,99	0,18	1,31	15,36	0,43	n

n= sin datos

Leyendas de figuras

Figura 1: Bosquejo geológico del extremo norte de la sierra de Viquis, sector de Mina San Antonio (modificado de Lazarte *et al.* 2012).

Figura 2: Fotomicrografías de los granitoides: a, b y c (GPO), d (GVN), e y f (GMSA).

Figura 3: Diagrama de índices de Shand (1943).

Figuras 4 y 5: diagramas tipo Harker de Al_2O_3 y P_2O_5 . En éste último se agregan curvas de estabilidad de apatito a 900°, 950° y 1000°C, según Sheepers y Rozendaal (1995).

Figura 6: diagrama de suma de álcalis en función de sílice.

Figura 7: diagrama A/CNK vs. P_2O_5 .

Figura 8: diagrama de la relación CaO/P_2O_5 en función de aluminosidad como A/CNK.

Figura 9: Relaciones Zr/Hf y Rb/Sr.

Figura 10: diagrama de La en función de Th con valores de la relación.

Figura 11: diagrama Ba-Rb-Sr según El Bouseily y El Sokkary (1975). Se delimita el campo de granitoides altamente diferenciados y se marca la tendencia de diferenciación.

Figura 12: diagrama tipo "spider" de E.T.R. normalizado a condrito según datos de Nakamura (1974).

Figura 13: diagrama de ambiente tectónico con campos según Pearce *et al.* (1984).

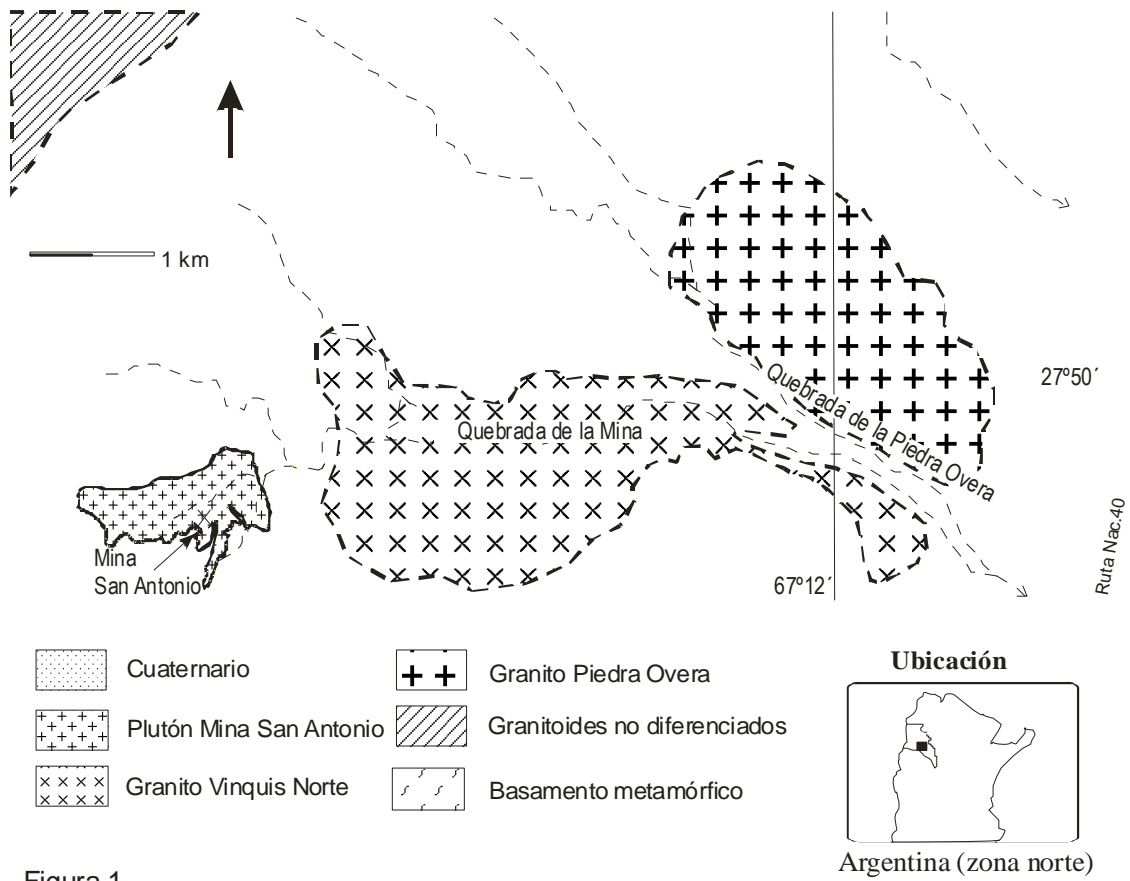


Figura 1

Figura 1:
Bosquejo geológico del extremo N de la sierra de Vinquis (modificado de Lazarte et al. 2012)

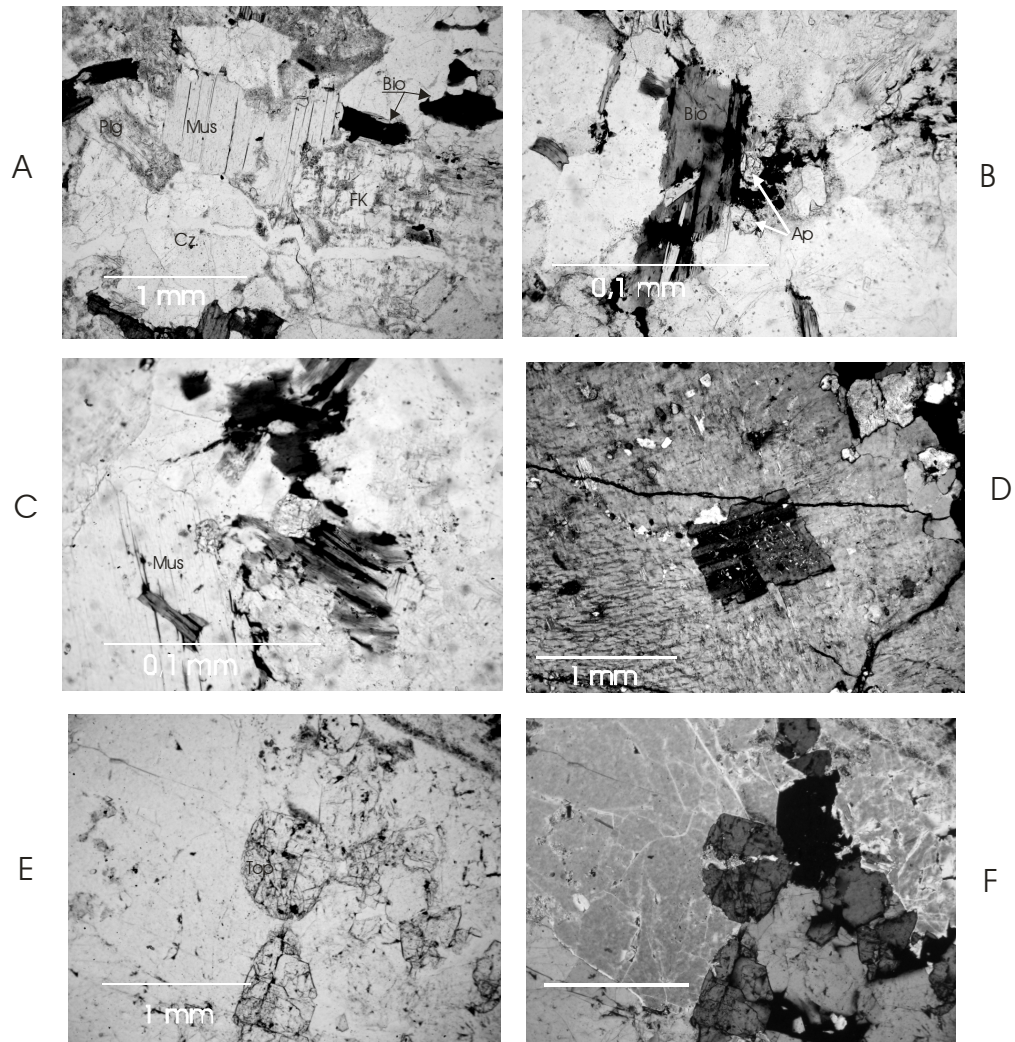
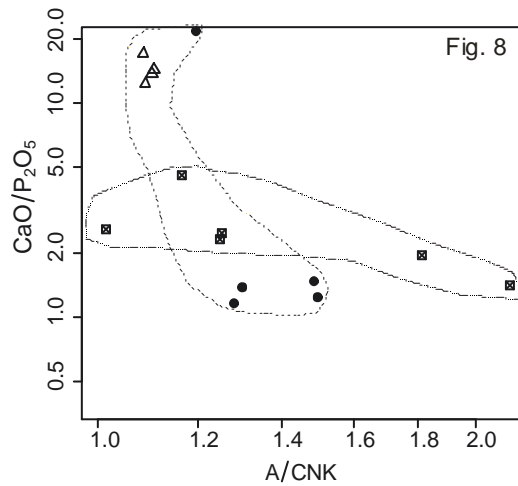
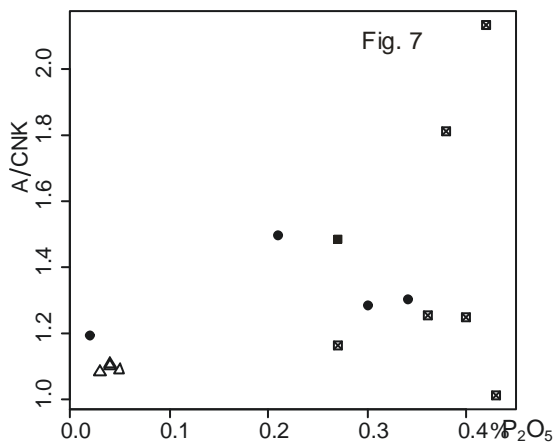
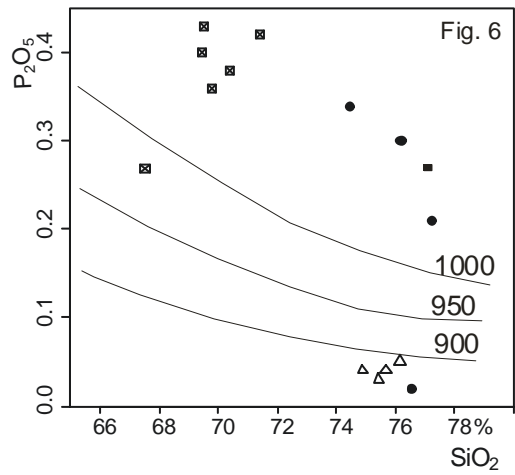
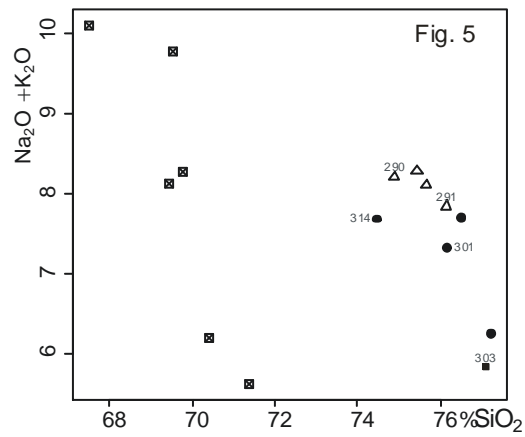
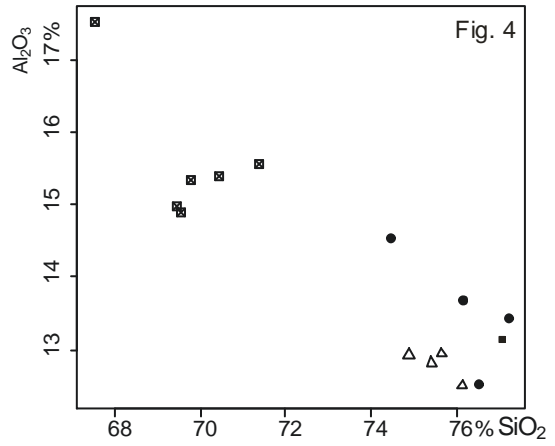
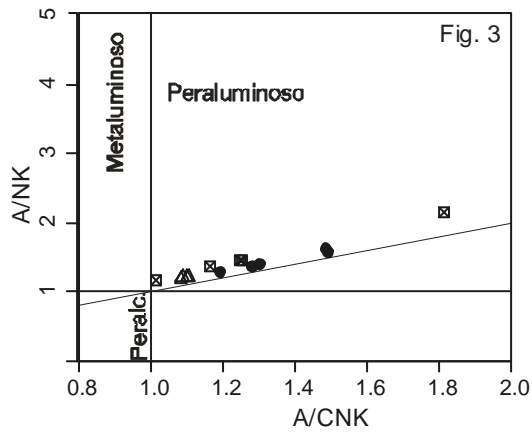


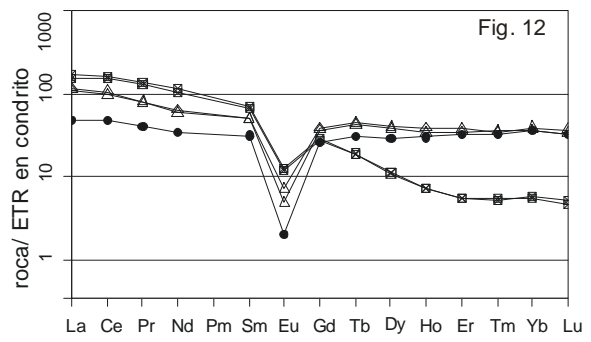
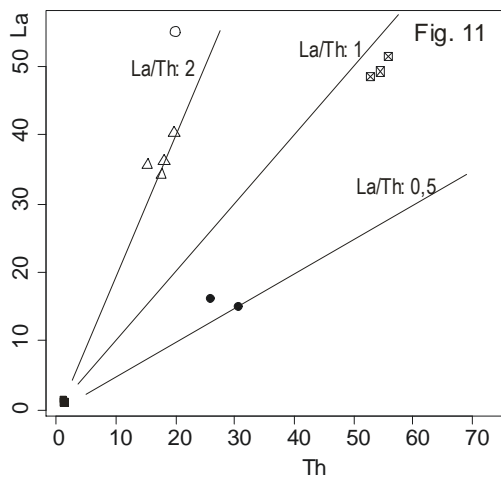
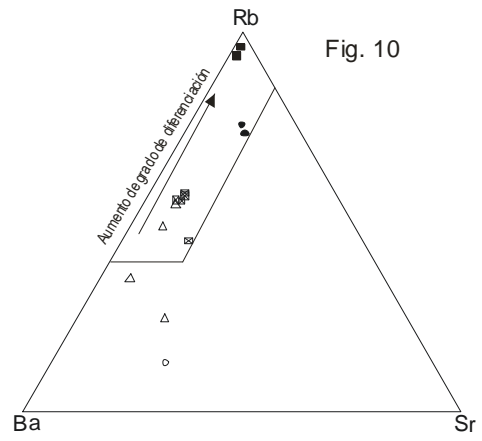
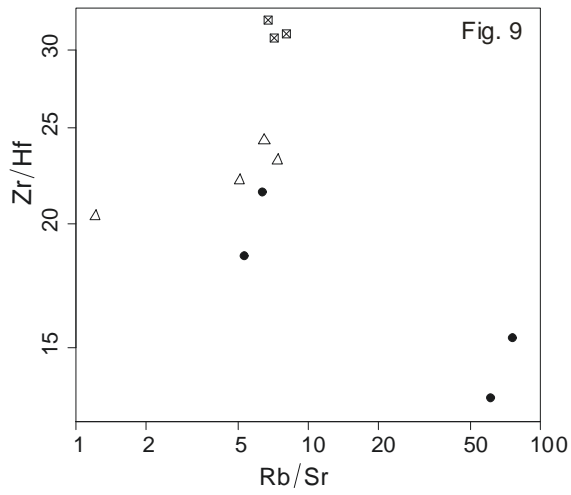
Figura 2

- A: micas, cuarzo y feldespatos en GPO (nic. paralelos)
- B: Apatito y biotita en GPO (nic. paralelos)
- C: muscovita con inclusión de biotita en GPO (nic.paralelos)
- D: Plagioclasa en FK en GVN (nic.cruzados)
- E y F: topacio en GMSA (nic. paralelos y cruzados resp.)



Referencias

- Granito Mina San Antonio
- ☒ Granito Piedra Overa
- ▲ Granito Vinquis Norte
- GMSA con alteración
- Media de granitos (Krauskopf, 1979)



- Referencias
- ⊠ Granito Piedra Overa
 - △ Granito Vinquis Norte
 - Granito Mina San Antonio
 - GMSA con alteración
 - Media de granitos (Krauskopf, 1979)

